枯草芽孢杆菌 CGMCC 1.921 对蛋鸡生产性能、血常规指标、血清生化指标及免疫球蛋白含量的影响

郭军蕊　董晓芳*　佟建明

（中国农业科学院北京畜牧兽医研究所，北京 100193）

摘　要：本试验旨在研究枯草芽孢杆菌 CGMCC 1.921 对蛋鸡生产性能、血常规指标、血清生化指标及免疫球蛋白含量的影响。选用 27 周龄健康的海兰褐壳蛋鸡 360 只，随机分为 5 个组，每个组 6 个重复，每个重复 12 只鸡。对照组（1 组）饲喂基础饲粮，试验组（2~5 组）分别在基础饲粮中添加 1.0×10^5、1.0×10^6、1.0×10^7 和 1.0×10^8 CFU/g 枯草芽孢杆菌 CGMCC 1.921。试验期 24 周。结果表明：各组产蛋率、采食量、蛋重、只产蛋量及死淘率均无显著差异（$P>0.05$），但试验 2、4、5 组料蛋比显著低于对照组（$P<0.05$）；饲粮添加枯草芽孢杆菌 CGMCC 1.921 显著升高了血清葡萄糖含量（第 2、3、12、16、20 周）（$P<0.05$），显著降低了血清尿素含量（第 2、3、8、12 周）($P<0.05$)；饲粮添加枯草芽孢杆菌 CGMCC 1.921 显著提高了血液白细胞（第 1、3、4、8、12、16、20、24 周）和淋巴细胞数目（第 2、3、4、8、12、16、20、24 周）（$P<0.05$），显著升高了血清免疫球蛋白 G（第 1、4 周）和免疫球蛋白 M 含量（第 2、4、8、16 周）（$P<0.05$）。综上所述，饲粮中添加枯草芽孢杆菌 CGMCC 1.921 降低了料蛋比，对血清葡萄糖、尿素含量和血常规指标指标有一定改善作用，且在一定程度上促进了蛋鸡免疫力的提升。

关键词：蛋鸡；枯草芽孢杆菌；生产性能；血常规指标；血清生化指标；免疫球蛋白

中图分类号：S831　　　　文献标识码：　　　　文章编号：

收稿日期：2016-08-28

基金项目：国家蛋鸡产业技术体系建设专项经费（CARS-41-K16）；中国农业科学院科技创新工程（ASTIP-IAS08）

作者简介：郭军蕊（1988−），女，河南新乡人，博士研究生，研究方向为动物营养与饲料科学。E-mail： gjr217@yeah.net

*通信作者：董晓芳，副研究员，硕士生导师，E-mail： xiaofangd1124@sina.com

近些年来，微生物饲料添加剂在动物生产中的应用越来越广泛。乳酸菌是目前认为应用最早，为生产者、养殖者所认可的一种益生菌，而芽孢杆菌因其在高温、酸性环境等不利条件下具有较高的稳定性[1]也逐渐受到人们的青睐。其中，枯草芽孢杆菌已于 1999 年被农业部列入《允许使用的饲料添加剂品种目录》。研究表明，在动物饲粮中添加枯草芽孢杆菌，可以提高肠道蛋白酶、淀粉酶等消化酶的活性[2]，改善肠道结构[3]，提高营养物质利用率[4]，促进动物的生长发育[5-6]；抑制病原菌定植[7]，增强机体抗病能力[8]；减少有害物质的排放，改善养殖环境[9-10]等。但关于枯草芽孢杆菌对产蛋鸡的影响未见有进行长期连续性的观察。本试验旨在研究饲粮中添加不同水平的枯草芽孢杆菌 CGMCC 1.921 对蛋鸡生产性能、血常规指标、血清生化指标及免疫球蛋白含量的影响，为其在蛋鸡饲粮中的应用提供理论参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验菌种

试验选用的枯草芽孢杆菌 CGMCC 1.921 菌种购自中国普通微生物菌种保藏中心，由沧州华雨药业有限公司生产制备，含量为 1.105×10^{10} CFU/g。

1.2 试验动物与试验设计

选用 27 周龄健康的海兰褐壳蛋鸡 360 只，随机分为 5 组，每组 6 个重复，每个重复 12 只鸡。1 组为对照组，饲喂不添加枯草芽孢杆菌 CGMCC 1.921 的基础饲粮，试验 2～5 组在基础饲粮中分别添加 1.0×10^5、1.0×10^6、1.0×10^7 和 1.0×10^8 CFU/g 枯草芽孢杆菌 CGMCC 1.921。试验期 24 周。基础饲粮参照 NRC（1994）蛋鸡营养需要配制，其组成及营养水平见表 1。

表1 基础饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 1 Composition and nutrient levels of the basal diet (air-dry basis) %

项目 Items	含量 Content

原料 Ingredients	
玉米 Corn	64.00
豆粕 Soybean meal	24.00
豆油 Soybean oil	1.00
食盐 NaCl	0.30
石粉 Limestone	8.50
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	1.20
预混料 Premix[1)]	1.00
合计 Total	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]	
代谢能 ME/(MJ/kg)	11.53
粗蛋白质 CP	16.52
钙 Ca	3.50
总磷 TP	0.60
有效磷 AP	0.40
赖氨酸 Lys	0.80
蛋氨酸 Met	0.35
蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys	0.65

[1)]预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of the diet：VA 8 000 IU，VD_3 3 000 IU，VE 15 IU，VK_3 2.0 mg，VB_1 2.0 mg，VB_2 4.0 mg，VB_6 4.0 mg，泛酸钙 calcium pantothenate 12 mg，烟酸 nicotinic acid 40 mg，生物素 biotin 0.1 mg，叶酸 folic acid 1.0 mg，VB_{12} 0.01 mg，Fe (as ferrous sulfate) 30 mg，Cu (as copper sulfate) 6.25 mg，Zn (as zinc sulfate) 70 mg，Mn (as manganese sulfate) 63.6 mg，I (as potassium iodide) 0.4 mg，Se (as sodium

selenite) 0.2 mg。

2)计算值 Calculated values。

1.3 饲养管理

采用 2 层笼养，每个重复由相邻 2 笼组成（80 cm× 60 cm× 50 cm），每笼 6 只鸡。每日饲喂 3 次，自由采食；乳头式饮水器，自由饮水。采用 16 h 光照（06:00—22:00），自动控温、供暖、通风。

1.4 测定指标及方法

1.4.1 生产性能

试验期间，以重复为单位每天记录产蛋数、蛋重、死淘鸡只数，每周结料，称取并记录剩余料重，计算产蛋率、采食量、蛋重、料蛋比、只产蛋量和死淘率。

1.4.2 血清生化指标测定

试验开始前（第 0 周）及试验第 1、2、3、4、8、12、16、20、24 周，以重复为单位随机选取 4 只鸡，采血前禁食 12 h，自由饮水。通过翅下静脉采集血液于普通真空采血管中，静置待有少量血清析出后，2 000 r/min 离心 10 min，取上清液于 EP 管中待测。用日本东芝 TBA-120FR 全自动生化分析仪进行血清中谷丙转氨酶（ALT）、谷草转氨酶（AST）活性及总蛋白（TP）、白蛋白（ALB）、总胆红素（TBIL）、葡萄糖（GLU）、尿素（UREA）、尿酸（UA）、肌酐（CREA）、甘油三酯（TG）和胆固醇（CHOL）含量的测定。

1.4.3 血常规指标测定

试验开始前（第 0 周）及试验第 1、2、3、4、8、12、16、20、24 周，以重复为单位随机选取 4 只鸡，采血前禁食 12 h，自由饮水。通过翅下静脉采集血液分别于 5 mL 的乙二胺四乙酸（EDTA）抗凝真空采血管和 2 mL 柠檬酸钠抗凝真空采血管，轻轻混匀。采用电阻抗法，由江西特康全自动三分群血细胞分析仪(TEK-Ⅱ mini)进行白细胞（WBC）、淋巴细胞（LYM）、中间细胞（MID）、中性粒细胞（NEU）、红细胞（RBC）、血小板（PLT）数目

及红细胞压积（HCT）和血红蛋白（HGB）含量测定；采用魏氏法，由北京普利生 XC-40B 全自动 RBC 沉降率测定仪进行红细胞沉降率（ESR）的测定。

1.4.4　血清免疫球蛋白含量的测定

采样方法同 1.4.2。血清中免疫球蛋白 A（IgA）、免疫球蛋白 G（IgG）、免疫球蛋白 M（IgM）含量采用双抗体夹心酶联免疫吸附法（ELISA），按照上海朗顿生物科技有限公司提供的鸡免疫球蛋白（IgA、IgG、IgM）酶联免疫吸附检测试剂盒进行测定。

1.5　数据统计与分析

试验数据采用 SPSS 19.0 进行统计分析。采用单因素方差分析（one-way ANOVA）和最小显著差数(LSD)法进行多重比较，显著水平设为 $P<0.05$，试验数据表示为平均值±标准差。

2　结果与分析

2.1　枯草芽孢杆菌 CGMCC 1.921 对蛋鸡生产性能的影响

由表 2 可知，饲粮中添加枯草芽孢杆菌 CGMCC 1.921 对第 1～24 周产蛋率、蛋重、采食量、只产蛋量以及死淘率均无显著影响($P>0.05$)；但试验 2、4、5 组的料蛋比显著低于对照组($P<0.05$)，试验 3 组料蛋比与其他各组之间无显著差异($P>0.05$)。

表 2　枯草芽孢杆菌 CGMCC 1.921 对蛋鸡生产性能的影响

Table 2　Effects of *Bacillus subtilis* CGMCC 1.921 on performance of laying hens

项目 Items	组别 Groups 1	2	3	4	5	*P* 值 *P*-value
产蛋率 Egg production/%	89.5±5.4	92.4±2.5	92.5±1.7	92.5±4.0	93.1±3.6	0.500
采食量 Feed intake/（g/d）	111.4±2.0	111.5±1.5	111.0±1.7	110.7±1.6	111.2±2.6	0.957
蛋重 Egg weight/g	61.2±0.5	61.5±0.8	60.9±1.0	61.4±1.1	61.6±0.3	0.586

料蛋比 Feed to egg ratio	2.04±0.10^{b}	1.96±0.04^{a}	1.97±0.03^{ab}	1.95±0.04^{a}	1.94±0.04^{a}	0.049
只产蛋量 Egg weight per hen/kg	9.09±0.57	9.44±0.30	9.35±0.30	9.42±0.32	9.52±0.38	0.378
死淘率 Mortality/%	1.39±3.40	1.39±3.40	2.78±4.30	0.00±0.00	0.00±0.00	0.440

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著（P<0.05），相同或无字母表示差异不显著（P>0.05）。下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference (P<0.05), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference (P>0.05). The same as below.

2.2 枯草芽孢杆菌 CGMCC 1.921 对蛋鸡血清生化指标的影响

由表 3 可知，试验 2、5 组（第 1 周）的血清 ALT 活性显著高于对照组（P<0.05），而各试验组（第 24 周）血清 ALT 活性有降低趋势（P=0.072）；对于血清 AST 活性，仅试验 3（第 2 周）、4（第 8 周）、5 组（第 3、20 周）显著高于对照组（P<0.05）。

表 3 枯草芽孢杆菌 CGMCC 1.921 对蛋鸡血清 ALT 和 AST 活性的影响

Table 3 Effects of *Bacillus subtilis* CGMCC 1.921 on serum ALT and AST activities of laying hens U/L

项目 Items	组别 Groups					P 值 P-value
	1	2	3	4	5	
谷丙转氨酶 ALT						
第 1 周 Week 1	2.9±1.1^{a}	4.1±1.5^{bc}	3.4±1.3^{abc}	3.3±1.3^{ab}	4.2±1.7^{c}	0.024
第 24 周 Week 24	1.8±1.2	1.6±1.1	1.7±1.0	1.1±0.9	1.1±0.8	0.072

谷草转氨酶 AST						
第 2 周 Week 2	146±14[a]	147±11[a]	159±18[b]	153±13[ab]	153±18[ab]	0.026
第 3 周 Week 3	147±13[a]	145±12[a]	149±14[ab]	144±13[a]	155±15[b]	0.041
第 8 周 Week 8	143±14[a]	148±11[a]	150±16[ab]	158±18[b]	149±14[ab]	0.017
第 20 周 Week 20	141±27[a]	138±26[a]	140±27[a]	144±27[a]	166±33[b]	0.009

由表 4 可知，试验 5 组（第 3 周）的血清 TP 和 GLB 含量显著高于其他各组(*P*<0.05)，试验 5 组（第 2 周）血清 ALB 含量显著高于对照组和试验 3 组(*P*<0.05)，试验 2 组（第 2 周）血清 GLB 含量显著高于对照组和试验 3、5 组(*P*<0.05)。试验 2 组（第 2 周）血清白蛋白/球蛋白（A/G）显著低于对照组和试验 5 组(*P*<0.05)，试验 5 组（第 3 周）血清 A/G 显著低于其他各组(*P*<0.05)。

表 4　枯草芽孢杆菌 CGMCC 1.921 对蛋鸡血清 TP、ALB、GLB 含量及 A/G 的影响

Table 4　Effects of *Bacillus subtilis* CGMCC 1.921 on serum TP, ALB, GLB content and A/G of laying hens

项目 Items	组别 Groups					*P* 值 *P*-value
	1	2	3	4	5	
总蛋白 TP/（g/L）						
第 3 周 Week 3	41.2±4.0[a]	41.5±7.5[a]	40.0±5.8[a]	41.0±7.6[a]	51.1±5.5[b]	<0.001
白蛋白 ALB/（g/L）						
第 2 周 Week 2	21.0±1.6[a]	21.9±1.9[ab]	21.1±1.4[a]	22.0±1.8[ab]	22.4±2.0[b]	0.025
球蛋白 GLB/（g/L）						
第 2 周 Week 2	24.2±4.3[a]	27.6±4.2[b]	24.9±4.4[a]	26.0±3.6[ab]	24.6±4.3[a]	0.044

第 3 周 Week 3	19.3±3.0^{a}	20.1±6.1^{a}	18.7±4.8^{a}	20.3±6.5^{a}	29.2±4.4^{b}	<0.001
白蛋白/球蛋白 A/G						
第 2 周 Week 2	0.89±0.12^{b}	0.80±0.08^{a}	0.87±0.13^{ab}	0.86±0.11^{ab}	0.93±0.16^{b}	0.010
第 3 周 Week 3	1.15±0.15^{b}	1.12±0.22^{b}	1.18±0.21^{b}	1.10±0.27^{b}	0.76±0.09^{a}	<0.001

由表 5 可知，对于血清 CREA 含量，试验 5 组（第 16 周）显著高于对照组和试验 2、3 组(P<0.05)，试验 2（第 0、8 周）、3（第 0 周）、4（第 1、2 周）、5 组（第 1 周）显著低于对照组(P<0.05)。对于血清 TBIL 含量，试验 5 组（第 1 周）显著高于其他各组(P<0.05)，而其他各组（第 3 周）显著低于对照组(P<0.05)。

表 5　枯草芽孢杆菌 CGMCC 1.921 对蛋鸡血清 CREA 及 TBIL 含量的影响

Table 5　Effects of *Bacillus subtilis* CGMCC 1.921 on serum CREA and TBIL contents of laying hens　μmol/L

项目 Items	组别 Groups					*P* 值 *P*-value
	1	2	3	4	5	
肌酐 CREA						
第 0 周 Week 0	4.4±0.6^{b}	3.6±0.7^{a}	3.5±0.7^{a}	4.2±1.1^{b}	4.2±0.8^{b}	0.001
第 1 周 Week 1	6.3±0.7^{c}	6.0±0.5^{c}	6.4±0.7^{c}	5.6±0.6^{b}	5.1±0.7^{a}	<0.001
第 2 周 Week 2	5.6±0.6^{bc}	5.5±0.7^{bc}	5.2±0.6^{ab}	5.0±0.8^{a}	5.6±0.8^{c}	0.005
第 8 周 Week 8	6.3±0.6^{b}	5.7±0.7^{a}	6.1±0.8^{ab}	6.2±1.2^{ab}	6.6±0.9^{b}	0.020
第 16 周 Week 16	3.0±1.3^{a}	2.7±0.8^{a}	3.1±0.5^{a}	3.3±0.8^{ab}	3.7±1.3^{b}	0.009
第 20 周 Week 20	7.9±0.9^{ab}	7.5±0.6^{a}	7.6±0.7^{a}	8.1±0.6^{b}	7.6±0.5^{a}	0.047
总胆红素 TBIL						

第 1 周 Week 1	2.1±0.5[a]	2.3±0.7[a]	2.2±0.6[a]	2.1±0.7[a]	2.8±0.5[b]	<0.001
第 3 周 Week 3	3.7±0.6[b]	3.0±0.9[a]	3.0±0.7[a]	3.0±0.7[a]	3.3±0.7[a]	0.003

由表 6 可知，对于血清 UREA 含量，试验 2、3、5 组（第 1 周）显著高于对照组（P<0.05），而试验 2（第 8、12 周）、4（第 3、12 周）、5 组（第 2、3、12 周）显著低于对照组（P<0.05）；对于血清 UA 含量，试验 2、5 组（第 20 周）显著低于对照组和试验 3 组（P<0.05）。

表 6 枯草芽孢杆菌 CGMCC 1.921 对蛋鸡血清 UREA 及 UA 含量的影响

Table 6 Effects of *Bacillus subtilis* CGMCC 1.921 on serum UREA and UA contents of laying hens

项目 Items	组别 Groups					*P* 值 *P*-value
	1	2	3	4	5	
尿素 UREA/（mmol/L）						
第 1 周 Week 1	0.28±0.07[a]	0.33±0.07[b]	0.34±0.07[b]	0.30±0.08[ab]	0.33±0.06[b]	0.015
第 2 周 Week 2	0.36±0.06[b]	0.35±0.05[b]	0.35±0.07[b]	0.35±0.07[b]	0.29±0.05[a]	0.002
第 3 周 Week 3	0.38±0.06[b]	0.34±0.05[ab]	0.35±0.07[ab]	0.31±0.04[a]	0.33±0.09[a]	0.014
第 8 周 Week 8	0.38±0.13[b]	0.30±0.10[a]	0.38±0.08[b]	0.39±0.07[b]	0.40±0.08[b]	0.007
第 12 周 Week 12	0.50±0.07[b]	0.44±0.09[a]	0.50±0.09[b]	0.40±0.07[a]	0.41±0.12[a]	<0.001
尿酸 UA/（μmol/L）						
第 20 周 Week 20	204±77[b]	146±40[a]	206±79[b]	181±73[ab]	158±81[a]	0.020

由表 7 可知，对于血清 GLU 含量，试验 3（第 1、8 周）、4（第 8 周）、5 组（第 1、8 周）显著低于对照组（P<0.05），试验 2（第 12 周）、3（第 2、3、20 周）、4（第 3、12、16 周）、5 组（第 2、3、12、16、20 周）显著高于对照组（P<0.05）。

表 7　枯草芽孢杆菌 CGMCC 1.921 对蛋鸡血清 GLU 含量的影响

Table 7　Effects of *Bacillus subtilis* CGMCC 1.921 on serum GLU content of laying hens

mmol/L

项目 Items	组别 Groups					*P* 值 *P*-value
	1	2	3	4	5	
第 0 周 Week 0	11.09±1.52[ab]	10.59±1.44[a]	12.07±2.00[b]	11.97±1.64[b]	11.48±1.50[ab]	0.011
第 1 周 Week 1	12.15±0.99[c]	11.80±1.12[bc]	11.10±0.99[a]	11.79±1.25[bc]	11.20±1.06[ab]	0.005
第 2 周 Week 2	7.89±1.22[ab]	7.46±1.28[a]	8.99±1.12[c]	8.56±0.82[bc]	9.94±1.45[d]	<0.001
第 3 周 Week 3	7.40±0.96[a]	7.14±0.99[a]	8.18±1.15[b]	8.17±1.15[b]	8.86±1.11[c]	<0.001
第 4 周 Week 4	9.37±1.44	9.33±1.16	10.08±1.49	9.50±1.43	10.00±1.56	0.218
第 8 周 Week 8	10.41±0.97[b]	10.11±0.97[b]	8.97±1.29[a]	8.78±1.12[a]	9.32±1.05[a]	<0.001
第 12 周 Week 12	7.57±1.10[a]	9.19±1.57[bc]	8.53±1.06[ab]	9.69±1.49[cd]	10.35±2.56[d]	<0.001
第 16 周 Week 16	7.84±1.78[a]	8.58±1.64[ab]	8.49±1.13[ab]	9.30±2.83[bc]	9.68±1.63[c]	0.009
第 20 周 Week 20	9.23±0.81[a]	9.42±1.38[ab]	10.45±3.14[bc]	9.73±0.93[ab]	11.15±0.98[c]	0.002
第 24 周 Week 24	13.53±0.95	13.47±1.11	13.57±1.48	13.29±0.73	12.98±1.24	0.437

其他时间点，各组间血清 ALT、AST 活性及 TP、ALB、GLB、TBIL、CREA、UREA、UA 含量和 A/G（数据未列出）均无显著差异（P>0.05）。饲粮中添加枯草芽孢杆菌 CGMCC 1.921 对血清 CHOL 和 TG 含量（数据未列出）无显著影响（P>0.05）。

综上所述，饲粮中添加枯草芽孢杆菌 CGMCC 1.921 除在一定程度上升高了血清 GLU 含量，降低了 UREA 含量之外，在整个试验期对其他血清生化指标的影响不大。

2.3　枯草芽孢杆菌 CGMCC 1.921 对蛋鸡血常规指标的影响

由表8可知，对于血液WBC数目，试验2（第1、12、16、24周）、3（第3、16、20、24周）、4（第1、3、4、8、16、20、24周）、5组（第1、3、4、8、20、24周）显著高于对照组（$P<0.05$），试验2组（第12周）显著高于试验3、4组（$P<0.05$），试验3组（第20周）显著高于试验2组（$P<0.05$），试验4组（第3、4周）显著高于试验2、3组（$P<0.05$），试验4组（第8、20周）显著高于其他各组（$P<0.05$），试验5组（第1周）显著高于其他各组（$P<0.05$），试验5组（第3、4、20周）显著高于试验2组（$P<0.05$）。

表8　枯草芽孢杆菌CGMCC 1.921对蛋鸡血液WBC数目的影响

Table 8　Effects of *Bacillus subtilis* CGMCC 1.921 on blood WBC count of laying hens

10^9/L

项目 Items	组别 Groups					*P* 值 *P*-value
	1	2	3	4	5	
第0周 Week 0	121.1±32.7	118.1±12.2	129.5±22.3	114.2±23.5	128.3±28.7	0.168
第1周 Week 1	117.1±7.1[a]	130.0±9.6[b]	126.4±4.5[ab]	128.2±13.1[b]	140.0±32.6[c]	<0.001
第2周 Week 2	125.5±10.4	122.9±5.6	133.0±22.6	123.2±6.9	124.4±12.6	0.053
第3周 Week 3	118.6±6.2[a]	119.2±9.9[ab]	122.7±3.8[bc]	127.1±3.9[d]	125.4±7.5[cd]	<0.001
第4周 Week 4	120.3±9.4[a]	121.4±16.6[a]	127.9±4.2[ab]	138.2±23.4[c]	131.8±15.5[bc]	<0.001
第8周 Week 8	124.6±7.9[a]	129.0±13.9[ab]	128.1±3.8[ab]	139.1±15.7[c]	132.1±8.5[b]	<0.001
第12周 Week 12	127.4±3.8[a]	140.3±22.1[b]	126.4±12.0[a]	124.5±16.9[a]	133.0±7.0[ab]	0.001
第16周 Week 16	124.8±6.5[a]	133.4±11.1[b]	133.8±7.8[b]	137.5±21.6[b]	130.9±9.0[ab]	0.011
第20周 Week 20	124.6±5.4[a]	123.1±6.8[a]	131.8±5.4[b]	138.2±13.0[c]	131.5±8.3[b]	<0.001
第24周 Week 24	122.8±5.2[a]	130.0±24.1[b]	131.0±3.7[b]	134.4±10.4[b]	136.4±7.3[b]	0.004

由表 9 可知，对于血液 LYM 数目，试验 2（第 12、16、24 周）、3（第 2、3、4、20、24 周）、4（第 3、4、8、20、24 周）、5 组（第 3、4、8、20、24 周）显著高于对照组（*P*<0.05），而试验 4 组（第 0、12、16 周）显著低于其他各组（*P*<0.05），试验 2 组（第 4 周）显著低于对照组（*P*<0.05），试验 3、4、5 组（第 3、4、8 周）显著高于试验 2 组（*P*<0.05）。

表 9　枯草芽孢杆菌 CGMCC 1.921 对蛋鸡血液 LYM 数目的影响

Table 9　Effects of *Bacillus subtilis* CGMCC 1.921 on blood LYM count of laying hens

10^9/L

项目 Items	组别 Groups					*P* 值 *P*-value
	1	2	3	4	5	
第 0 周 Week 0	102.6±18.4^{b}	110.6±9.8^{b}	112.0±14.7^{b}	85.0±22.9^{a}	105.5±6.9^{b}	<0.001
第 1 周 Week 1	105.9±4.5	113.2±7.1	111.9±13.2	106.0±20.5	109.3±16.6	0.236
第 2 周 Week 2	108.0±6.9^{a}	108.1±5.3^{a}	118.5±7.6^{b}	106.2±4.7^{a}	103.0±14.3^{a}	<0.001
第 3 周 Week 3	107.0±3.8^{a}	105.7±7.0^{a}	112.5±3.2^{b}	117.8±4.3^{c}	110.9±8.3^{b}	<0.001
第 4 周 Week 4	105.9±8.5^{b}	90.0±23.7^{a}	114.0±2.8^{c}	119.8±15.3^{c}	115.3±9.8^{c}	<0.001
第 8 周 Week 8	108.9±7.2^{ab}	104.2±28.0^{a}	114.8±3.4^{bc}	122.2±9.2^{c}	117.8±6.8^{c}	<0.001
第 12 周 Week 12	115.8±2.9^{b}	122.5±10.6^{c}	112.1±10.3^{b}	104.1±9.9^{a}	114.6±4.2^{b}	<0.001
第 16 周 Week 16	114.6±2.8^{b}	121.5±5.3^{c}	112.3±6.0^{b}	104.9±14.3^{a}	109.9±7.3^{b}	<0.001
第 20 周 Week 20	104.6±1.9^{a}	107.7±4.9^{ab}	117.7±2.8^{c}	114.4±10.9^{c}	109.2±3.1^{b}	<0.001
第 24 周 Week 24	104.6±1.9^{a}	108.0±5.6^{b}	116.3±2.1^{c}	109.8±7.8^{b}	109.7±2.6^{b}	<0.001

由表 10 可知，对于血液 MID 数目，试验 2（第 1、12 周）、3（16 周）、4（第 0、12、16、20、24 周）、5 组（第 0、1、3、12、16、20、24 周）显著高于对照组（*P*<0.05），试验

4、5 组（第 0、20、24 周）显著高于其他各组（P<0.05），试验 5 组（第 1、3 周）显著高于试验 3、4 组（P<0.05）。

表 10　枯草芽孢杆菌 CGMCC 1.921 对蛋鸡血液 MID 数目的影响

Table 10　Effects of *Bacillus subtilis* CGMCC 1.921 on blood MID count of laying hens

10^9/L

项目 Items	组别 Groups					P 值 P-value
	1	2	3	4	5	
第 0 周 Week 0	7.7±2.4[a]	5.9±2.3[a]	6.4±3.9[a]	11.3±4.3[b]	13.8±8.8[b]	<0.001
第 1 周 Week 1	8.4±2.2[a]	11.5±2.1[bc]	9.2±2.2[ab]	9.3±4.6[ab]	12.5±7.1[c]	0.003
第 2 周 Week 2	11.3±3.4[ab]	10.2±2.3[ab]	8.9±6.4[a]	12.2±3.7[b]	12.6±3.7[b]	0.016
第 3 周 Week 3	8.6±2.2[b]	9.3±2.8[bc]	8.0±1.6[ab]	7.0±1.9[a]	10.8±4.0[c]	<0.001
第 4 周 Week 4	10.4±2.0	12.7±4.9	10.0±1.8	10.4±6.5	11.4±5.9	0.280
第 8 周 Week 8	11.2±2.1	12.2±2.3	9.8±1.9	10.6±4.5	10.1±3.8	0.065
第 12 周 Week 12	8.6±1.3[a]	11.8±5.7[b]	10.3±2.1[ab]	12.2±4.4[b]	12.2±2.8[b]	<0.001
第 16 周 Week 16	7.5±2.8[a]	8.5±3.4[a]	15.2±3.7[b]	16.8±6.0[b]	14.9±3.2[b]	<0.001
第 20 周 Week 20	13.5±2.8[b]	10.7±2.2[a]	10.5±2.1[a]	16.1±5.9[c]	15.7±4.3[c]	<0.001
第 24 周 Week 24	12.6±2.4[a]	12.9±6.2[a]	10.5±1.7[a]	16.0±7.4[b]	18.3±2.6[b]	<0.001

由表 11 可知，对于血液 NEU 数目，试验 2（第 1 周）、3（第 16 周）、4（第 0、12、16、24 周）、5 组（第 0、12、16、24 周）显著高于对照组（P<0.05），试验 3 组（第 0、2、20 周）显著低于对照组（P<0.05），试验 4、5 组（第 0、12、24 周）显著高于试验 2、3 组（P<0.05）。

表 11　枯草芽孢杆菌 CGMCC 1.921 对蛋鸡血液 NEU 数目的影响

Table 11 Effects of *Bacillus subtilis* CGMCC 1.921 on blood NEU count of laying hens

10^9/L

项目 Items	组别 Groups					*P* 值 *P*-value
	1	2	3	4	5	
第 0 周 Week 0	2.5±1.6[b]	1.6±1.1[ab]	1.1±0.3[a]	4.3±2.2[d]	3.4±1.3[c]	<0.001
第 1 周 Week 1	2.8±1.1[ab]	5.3±1.4[c]	3.1±1.5[b]	2.1±1.2[a]	2.6±1.3[ab]	<0.001
第 2 周 Week 2	4.4±3.2[b]	4.6±2.0[b]	1.7±0.8[a]	4.8±1.3[b]	4.1±1.5[b]	<0.001
第 3 周 Week 3	3.1±1.8[ab]	4.2±2.7[b]	2.2±0.6[a]	2.3±2.0[a]	3.8±2.2[b]	0.002
第 4 周 Week 4	4.1±1.4	4.8±2.2	3.9±1.8	3.8±3.0	4.0±3.0	0.676
第 8 周 Week 8	4.5±2.3	5.3±2.3	3.5±1.0	3.5±2.8	4.2±2.8	0.059
第 12 周 Week 12	3.0±0.9[a]	4.2±2.7[a]	3.9±2.1[a]	6.9±4.4[b]	6.2±2.4[b]	<0.001
第 16 周 Week 16	2.6±2.1[a]	2.6±1.8[a]	6.3±3.3[b]	6.6±5.6[b]	6.1±2.5[b]	<0.001
第 20 周 Week 20	6.5±2.4[bc]	4.7±2.2[ab]	3.6±1.1[a]	7.7±4.3[c]	6.5±4.2[bc]	<0.001
第 24 周 Week 24	5.5±1.8[a]	4.8±3.0[a]	4.2±1.3[a]	8.5±5.7[b]	8.4±4.0[b]	<0.001

由表 12 可知，对于血液 RBC 数目，试验 2（第 1、3 周）、4（第 2、12 周）、5 组（第 1、2、3、12 周）显著低于对照组（$P<0.05$），而试验 3、4、5 组（第 16、20 周）显著高于对照组和试验 2 组（$P<0.05$）。

表 12 枯草芽孢杆菌 CGMCC 1.921 对蛋鸡血液 RBC 数目的影响

Table 12 Effects of *Bacillus subtilis* CGMCC 1.921 on blood RBC count of laying hens

10^{12}/L

项目 Items	组别 Groups					*P* 值 *P*-value
	1	2	3	4	5	
第 0 周 Week 0	2.19±0.23	2.11±0.31	2.15±0.18	2.13±0.29	2.06±0.25	0.482
第 1 周 Week 1	2.42±0.20[c]	2.28±0.18[ab]	2.40±0.19[c]	2.33±0.13[bc]	2.20±0.25[a]	<0.001
第 2 周 Week 2	2.35±0.13[c]	2.39±0.18[c]	2.31±0.14[bc]	2.23±0.22[ab]	2.20±0.13[a]	<0.001
第 3 周 Week 3	2.43±0.15[c]	2.24±0.30[a]	2.39±0.17[bc]	2.35±0.13[abc]	2.30±0.18[ab]	0.007
第 4 周 Week 4	2.26±0.14	2.29±0.17	2.30±0.16	2.35±0.19	2.30±0.14	0.479
第 8 周 Week 8	2.32±0.12	2.40±0.15	2.42±0.16	2.37±0.18	2.32±0.25	0.225
第 12 周 Week 12	2.45±0.15[c]	2.53±0.17[c]	2.42±0.21[bc]	2.32±0.18[ab]	2.28±0.20[a]	<0.001
第 16 周 Week 16	2.42±0.17[a]	2.43±0.22[a]	2.58±0.21[b]	2.61±0.22[b]	2.60±0.29[b]	0.002
第 20 周 Week 20	2.38±0.17[a]	2.38±0.16[a]	2.52±0.15[b]	2.56±0.20[b]	2.56±0.30[b]	0.001
第 24 周 Week 24	2.45±0.15	2.55±0.20	2.47±0.19	2.57±0.18	2.56±0.13	0.055

由表 13 可知，对于血液 HGB 含量，试验 2（第 1、3、4、20 周）、3（第 3、20、24 周）、4（第 1、3、12 周）、5 组（第 1、12 周）显著低于对照组（P<0.05），而试验 3、4、5 组（第 16 周）显著高于对照组和试验 2 组（P<0.05）。

表 13　枯草芽孢杆菌 CGMCC 1.921 对蛋鸡血液 HGB 含量的影响

Table 13　Effects of *Bacillus subtilis* CGMCC 1.921 on blood HGB content of laying hens

g/L

项目 Items	组别 Groups	*P* 值 *P*-value

	1	2	3	4	5	
第 0 周 Week 0	91±11	86±15	87±7	90±7	93±10	0.105
第 1 周 Week 1	103±9^{c}	91±8^{a}	98±9^{bc}	96±6^{b}	93±10^{ab}	<0.001
第 2 周 Week 2	97±6	101±7	95±7	97±9	97±6	0.067
第 3 周 Week 3	104±7^{b}	93±14^{a}	98±7^{a}	95±7^{a}	98±10^{ab}	0.002
第 4 周 Week 4	98±7^{b}	90±12^{a}	95±7^{b}	97±9^{b}	98±7^{b}	0.002
第 8 周 Week 8	99±6	98±6	101±6	98±8	96±12	0.366
第 12 周 Week 12	103±8^{b}	106±7^{b}	105±7^{b}	97±7^{a}	94±8^{a}	<0.001
第 16 周 Week 16	102±9^{a}	101±8^{a}	110±8^{b}	109±9^{b}	108±9^{b}	<0.001
第 20 周 Week 20	110±8^{bc}	104±9^{a}	103±6^{a}	106±8^{ab}	113±11^{c}	0.001
第 24 周 Week 24	110±8^{b}	111±8^{b}	104±8^{a}	110±8^{b}	112±7^{b}	0.007

由表 14 可知，对于血液 HCT，试验 2（第 3 周）、4（第 2、3、12 周）、5 组（第 1、2、3、12 周）显著低于对照组（$P<0.05$）；试验 2（第 24 周）、3（第 16、20、24 周）、4（第 16、20、24 周）、5 组（第 16、20、24 周）显著高于对照组（$P<0.05$）。

表 14　枯草芽孢杆菌 CGMCC 1.921 对蛋鸡血液 HCT 的影响

Table 14　Effects of *Bacillus subtilis* CGMCC 1.921 on HCT in blood of laying hens　　%

项目 Items	组别 Groups					*P* 值 *P*-value
	1	2	3	4	5	
第 0 周 Week 0	26.8±3.0	25.1±4.0	26.0±2.2	25.6±2.3	25.2±3.1	0.251

第 1 周 Week 1	29.3±2.4^{b}	28.3±2.3^{b}	29.1±2.1^{b}	28.0±1.6^{b}	26.2±3.0^{a}	<0.001
第 2 周 Week 2	28.4±1.6^{bc}	28.9±2.2^{c}	27.5±1.9^{ab}	27.0±2.3^{a}	26.6±1.8^{a}	<0.001
第 3 周 Week 3	29.1±1.9^{b}	26.8±3.5^{a}	28.1±1.9^{ab}	27.4±1.9^{a}	27.6±2.3^{a}	0.021
第 4 周 Week 4	27.6±1.9	27.4±2.1	28.1±1.8	28.5±2.1	28.1±1.5	0.259
第 8 周 Week 8	28.3±1.6	29.0±1.6	29.5±1.8	29.0±2.3	28.6±3.0	0.350
第 12 周 Week 12	29.5±2.1^{bc}	30.4±2.1^{c}	29.0±2.1^{b}	27.6±2.1^{a}	27.6±2.4^{a}	<0.001
第 16 周 Week 16	29.1±2.4^{a}	28.8±2.5^{a}	30.6±2.2^{b}	30.9±2.5^{b}	31.2±3.1^{b}	0.003
第 20 周 Week 20	27.7±2.0^{a}	27.7±2.2^{a}	30.7±1.8^{b}	30.4±2.2^{b}	30.8±3.4^{b}	<0.001
第 24 周 Week 24	28.6±1.9^{a}	29.9±2.6^{b}	30.0±2.3^{b}	30.5±1.8^{b}	30.5±1.6^{b}	0.014

由表 15 可知，对于血液 PLT 数目，试验 2（第 24 周）、3（第 24 周）、4（第 16、24 周）、5 组（第 16、24 周）显著高于对照组（$P<0.05$）。

表 15　枯草芽孢杆菌 CGMCC 1.921 对蛋鸡血液 PLT 数目的影响

Table 15　Effects of *Bacillus subtilis* CGMCC 1.921 on blood PLT count of laying hens

10^9/L

项目 Items	组别 Groups					*P* 值 *P*-value
	1	2	3	4	5	
第 0 周 Week 0	11.4±2.6	13.9±2.6	12.0±4.5	12.9±3.7	14.0±4.5	0.067
第 1 周 Week 1	12.7±9.2	13.6±2.6	10.9±4.5	12.9±3.6	12.9±3.6	0.455
第 2 周 Week 2	9.3±3.7	8.9±4.4	12.5±4.0	11.5±6.5	10.4±5.9	0.092
第 3 周 Week 3	10.7±3.4	12.6±5.3	11.2±4.0	13.4±3.2	13.0±2.8	0.062
第 4 周 Week 4	10.1±3.8	11.0±5.4	10.3±4.6	10.7±6.2	10.3±5.0	0.969

第 8 周 Week 8	12.0±5.7	11.0±4.1	11.2±3.9	12.0±5.4	12.3±3.4	0.822
第 12 周 Week 12	11.6±5.4[ab]	11.5±5.6[ab]	9.5±5.4[a]	13.6±2.6[b]	13.0±4.7[b]	0.042
第 16 周 Week 16	12.3±5.8[a]	11.8±4.9[a]	16.3±9.1[ab]	20.1±10.3[b]	19.1±9.0[b]	0.001
第 20 周 Week 20	9.4±4.5	9.3±5.9	12.0±5.0	11.6±5.9	10.6±6.6	0.337
第 24 周 Week 24	7.5±4.2[a]	10.3±5.3[b]	14.2±3.2[c]	12.8±4.2[bc]	15.3±5.3[c]	<0.001

由表 16 可知，对于血液 ESR，试验 2（第 20 周）、3（第 3、20、24 周）、4（第 3、20 周）、5 组（第 3、4、8、20 周）显著高于对照组（*P*<0.05）。

表 16　枯草芽孢杆菌 CGMCC 1.921 对蛋鸡血液 ESR 的影响

Table 16　Effects of *Bacillus subtilis* CGMCC 1.921 on ESR in blood of laying hens

mm/h

项目 Items	组别 Groups					*P* 值 *P*-value
	1	2	3	4	5	
第 0 周 Week 0	1.8±0.7	2.3±0.9	2.1±0.4	1.8±0.7	2.0±0.8	0.123
第 1 周 Week 1	2.0±0.0	2.0±0.2	2.0±0.5	2.2±0.7	2.0±0.4	0.245
第 2 周 Week 2	2.0±0.4[abc]	1.7±0.6[a]	1.8±0.4[ab]	2.0±0.6[bc]	2.3±0.7[c]	0.008
第 3 周 Week 3	1.3±0.5[a]	1.5±0.5[ab]	1.9±0.4[cd]	2.3±1.1[d]	1.7±0.6[bc]	<0.001
第 4 周 Week 4	1.5±0.6[a]	1.7±0.6[a]	1.7±0.5[a]	1.7±0.6[a]	2.2±0.5[b]	0.002
第 8 周 Week 8	1.6±0.6[a]	1.8±0.4[ab]	1.5±0.5[a]	1.8±0.4[ab]	2.0±0.0[b]	0.003
第 12 周 Week 12	1.9±0.3	2.0±0.4	2.2±0.9	2.2±0.9	1.9±0.3	0.191
第 16 周 Week 16	1.9±0.4	2.0±0.6	1.6±0.5	1.8±0.5	1.8±0.4	0.084
第 20 周 Week 20	1.0±0.0[a]	1.5±0.6[b]	1.5±0.6[b]	1.7±0.7[b]	1.8±0.5[b]	0.001

第 24 周 Week 24	1.2±0.5[a]	1.4±0.5[ab]	1.7±0.5[b]	1.4±0.5[ab]	1.5±0.5[ab]	0.047

综上所述，饲粮添加枯草芽孢杆菌 CGMCC 1.921 提高了血液 WBC 和 LYM 数目，降低了试验第 1、2、3 和 12 周的血液 RBC 数目和 HCT，但提高了试验第 16、20 和 24 周的血液 RBC、PLT 数目和 HCT。

2.4 枯草芽孢杆菌 CGMCC 1.921 对蛋鸡血清免疫球蛋白含量的影响

由表 17 可知，饲粮中添加枯草芽孢杆菌 CGMCC 1.921 对血清 IgA 含量（第 3 周）有升高趋势（*P*=0.083）。对于血清 IgG 含量，试验 5 组（第 1 周）显著高于对照组和试验 2、3 组（*P*<0.05），试验 4、5 组（第 4 周）显著高于对照组（*P*<0.05），而试验 2 组（第 20 周）显著低于对照组和试验 3 组（*P*<0.05）。对于血清 IgM 含量，试验 5 组（第 2、8 周）显著高于其他各组（*P*<0.05），试验 3、4、5 组（第 4 周）显著高于对照组（*P*<0.05），试验 3 组（第 16 周）显著高于其他各组（*P*<0.05）。其他时间点，各组间血清 IgA、IgG 和 IgM 含量（数据未列出）无显著差异（*P*>0.05）。

表 17 枯草芽孢杆菌 CGMCC 1.921 对蛋鸡血清免疫球蛋白含量的影响

Table 17 Effects of *Bacillus subtilis* CGMCC 1.921 on serum immunoglobulins contents of laying hens mg/mL

项目 Items	组别 Groups					*P* 值 *P*-value
	1	2	3	4	5	
免疫球蛋白 A IgA						
第 3 周 Week 3	1.96±0.32	2.03±0.30	2.08±0.32	2.22±0.48	2.74±0.85	0.083
免疫球蛋白 G IgG						
第 1 周 Week 1	2.90±1.11[a]	2.34±0.70[a]	2.90±1.03[a]	3.54±0.90[ab]	4.25±1.17[b]	0.029

第 4 周 Week 4	1.89±0.53^{a}	2.09±0.60^{ab}	2.67±0.44^{ab}	2.88±0.59^{bc}	3.56±0.95^{c}	0.001
第 16 周 Week 16	3.91±1.14	5.57±1.16	4.77±1.34	4.62±1.43	3.62±1.11	0.088
第 20 周 Week 20	4.90±0.67^{b}	3.59±0.63^{a}	5.09±0.98^{b}	4.58±1.17^{ab}	4.24±0.64^{ab}	0.040
免疫球蛋白 M IgM						
第 2 周 Week 2	1.51±0.31^{a}	1.40±0.25^{a}	1.44±0.16^{a}	1.56±0.33^{a}	2.25±0.26^{b}	<0.001
第 4 周 Week 4	0.97±0.35^{a}	1.13±0.23^{ab}	1.50±0.30^{b}	1.45±0.48^{b}	2.47±0.39^{c}	<0.001
第 8 周 Week 8	2.21±0.22^{a}	2.19±0.20^{a}	2.27±0.23^{a}	2.53±0.43^{a}	2.97±0.29^{b}	<0.001
第 16 周 Week 16	2.72±0.63^{a}	2.87±0.93^{a}	4.19±0.37^{b}	2.76±1.26^{a}	3.18±0.77^{a}	0.032

3 讨 论

3.1 枯草芽孢杆菌 CGMCC 1.921 对蛋鸡生产性能的影响

有研究表明，饲粮中添加益生菌可以提高动物的生产性能，但其相关研究的结论不尽相同。本研究表明，与对照组相比，添加1×10^5、1×10^6、1×10^7和1×10^8 CFU/g枯草芽孢杆菌CGMCC 1.921对产蛋率影响不显著，但较对照组产蛋率分别提高了3.24%、3.35%、3.35%和4.02%；且饲粮添加1×10^5、1×10^7和1×10^8 CFU/g枯草芽孢杆菌CGMCC 1.921显著降低了料蛋比，而添加1×10^5、1×10^6、1×10^7和1×10^8 CFU/g枯草芽孢杆菌CGMCC 1.921的各组间无显著差异，故在本试验条件下枯草芽孢杆菌CGMCC 1.921适宜添加水平为1×10^5 CFU/g。Zhang等[11]研究表明，饲粮中添加3.6×10^6 CFU/g枯草芽孢杆菌可以显著降低料蛋比，对产蛋率、蛋重、采食量影响不显著，但在一定程度上提高了产蛋率，这与本试验结果相一致。Ribeiro等[12]在饲粮中添加8×10^5 CFU/g枯草芽孢杆菌可以提高产蛋率和蛋重。另外，有研究表明，饲粮中添加枯草芽孢杆菌、植物乳杆菌等对肉鸡[13]、仔猪[14]及水产动物[15]的生长性能均有一定的改善作用。Deng等[16]试验发现，饲粮添加1×10^7 CFU/g地衣芽孢杆菌可以缓解热应激对蛋鸡生产性能造成的不利影响。这可能与益生菌可以提高消化酶的活性[17]、改善肠道结构[18-19]，从而提高了营养的利用率有关[20]。而Forte等[21]发现添加0.1%嗜酸乳杆菌和0.05%

枯草芽孢杆菌对海兰蛋鸡的生产性能均无显著影响。Sobczak等[22]报道添加枯草芽孢杆菌ATCC PTA-6737没有改善罗曼褐蛋鸡的生产性能。这可能与添加水平、动物的生产周期、饲养环境或者菌株特性有关。

3.2　枯草芽孢杆菌 CGMCC 1.921 对蛋鸡血清生化指标的影响

本试验发现饲粮添加不同水平枯草芽孢杆菌CGMCC 1.921在试验期间对血清ALT、AST活性基本无影响。ALT、AST主要存在于肝细胞中，其活性高低反映肝细胞的损伤程度，当肝细胞受损时，大量ALT、AST进入血液，则血清中两者活性增高。有研究表明，饲粮中添加益生菌可以显著降低血清ALT和AST活性[21,23]。而Li等[24]和Ma等[25]报道，饲粮添加枯草芽孢杆菌对绍兴鸭和蛋鸡血清ALT和AST活性无显著影响，与本试验结果相一致。血清TP、ALB、GLB含量及A/G是衡量肝脏合成和储备功能的指标，血清TBIL含量反映肝脏的分泌和排泄功能是否正常。ALB是由肝脏合成的，肝脏损伤则血清ALB含量减少；而若肝脏发生炎症则会引起血清GLB和TBIL含量的升高。对于血清TP、ALB、GLB、TBIL含量及A/G，各试验组与对照组之间总体上没有大的差异，说明饲粮添加不同水平枯草芽孢杆菌CGMCC 1.921对蛋鸡肝脏功能没有产生不良影响。UREA、UA和CREA是衡量肾脏功能的重要指标，本试验表明，饲粮添加枯草芽孢杆菌CGMCC 1.921对血清UA和CREA含量没有明显改善作用，但降低了血清UREA含量。UREA是蛋白质代谢的产物，反映动物机体蛋白质的分解代谢水平。一般而言，血清UREA含量升高说明蛋白质的沉积率下降，本试验血清UREA含量降低，说明饲粮添加枯草芽孢杆菌CGMCC 1.921提高了蛋白质的沉积，减少了UREA在肾脏的积累，从而在一定程度上起到了保护肾脏的作用。Hatab等[26]在蛋鸡饲粮中添加枯草芽孢杆菌和屎肠球菌显著降低了血清UA含量，对血清CREA含量无显著影响，另外，蛋鸡血清GLU含量显著升高。本试验也发现添加枯草芽孢杆菌CGMCC 1.921在一定程度上提高了血清GLU含量，GLU是机体所需能量的主要来源，其含量的升高说明枯草芽孢杆菌CGMCC 1.921的添加可以给机体提供相对较多的能量。而血清GLU含量的升高可能是因为益生菌的

添加增强了对碳水化合物的消化、糖原的分解以及糖异生的发生。对于血清CHOL和TG含量，Forte等[21]和Hatab等[26]报道添加枯草芽孢杆菌和屎肠球菌可以减少蛋鸡血清CHOL和TG的含量。本试验结果表明，添加不同水平枯草芽孢杆菌CGMCC 1.921对各试验时期血清CHOL和TG含量没有影响。Sobczak等[22]报道饲粮中添加枯草芽孢杆菌ATCC PTA-6737没有对蛋鸡血清CHOL和TG的含量产生显著影响，与本试验研究结果相一致。这可能与试验周期、菌种或菌株等因素有关。

3.3　枯草芽孢杆菌 CGMCC 1.921 对蛋鸡血常规指标和免疫球蛋白含量的影响

全血血常规指标反映机体的健康状况。WBC 是机体血液中十分重要的一类血细胞，具有抵御病原体的能力。LYM 反映机体的免疫功能水平，在机体免疫应答过程中发挥主要作用。MID 包括单核细胞、嗜酸性粒细胞和嗜碱性粒细胞，单核细胞和 NEU 具有强大的吞噬功能，在非特异性细胞免疫系统中起重要作用。研究表明，益生菌具有预防疾病、控制感染、提高机体免疫力的作用[27]。Khan 等[28]研究多菌株制剂对蛋鸡血液指标的影响发现其显著提高了 LYM 百分比。本研究表明，饲粮添加枯草芽孢杆菌 CGMCC 1.921 可以提高血液 WBC 和 LYM 数目，其中添加 1×10^7 和 1×10^8 CFU/g 枯草芽孢杆菌 CGMCC 1.921 效果更明显。Kim 等[29]在蛋鸡饲粮中添加益生菌制剂（枯草芽孢杆菌、乳酸菌及酵母）也显著提高了血液 WBC 和 LYM 数目，与本试验结果相似。这提示益生菌或其代谢产物可能对机体产生刺激从而对机体起到一定的免疫调节作用。Park 等[30]饲喂给用鼠伤寒沙门氏菌 KCCM 40253 进行攻毒的肉鸡含枯草芽孢杆菌 RX7 和 B2A 饲粮 10 d，结果表明其对血液 WBC 和 LYM 数目无显著影响。RBC 是血液中数量最多的一种血细胞，它不仅是机体通过血液运送氧气的主要媒介，而且还具有免疫功能。Gheisar 等[31]在肉鸡饲粮中添加屎肠球菌对血液 RBC 数目无显著影响。而 Strompfova 等[32]研究表明，饲粮添加屎肠球菌的仔猪血液 RBC 数目和 HCT 均有显著升高。Bonsu 等[33]在肉鸡饲粮中添加多菌株制剂对血液 RBC 数目无影响，但降低了血液 HGB 含量。本研究表明，饲粮添加枯草芽孢杆菌 CGMCC 1.921 的蛋鸡血液 HGB

含量及试验前 12 周的血液 RBC 数目和 HCT 有一定的降低，而试验 16、20 和 24 周血液 RBC 数目和 HCT 显著升高，这可能与动物的生理状态有关，但具体作用机制尚需进一步研究。对于血液 PLT 数目，Elzey 等[34]报道 PLT 在免疫系统中起重要作用，且正常小鼠血液中 PLT 数目减少会导致特异性抗体生成的减少。本试验结果表明，与对照组相比，试验 5 组在试验 16 和 20 周显著提高了血液 PLT 数目。Telli 等[35]研究发现，在高饲养密度下的尼罗罗非鱼中添加枯草芽孢杆菌对血液 PLT 数目影响不显著，但在低饲养密度下可以显著提高血液 PLT 数目。对于血液 ESR，本试验结果表明血液 ESR 在一定程度上稍有升高，血液 ESR 的升高可能与血液 RBC 数目减少或血清 GLU 含量升高等有关，但其他各项血液指标无明显不良变化，说明血液 ESR 的变化没有对机体产生影响。此外，饲粮中添加枯草芽孢杆菌 CGMCC 1.921 在一定程度上可以提高血清免疫球蛋白的含量，尤其可以显著提高血清 IgM 含量，且在本试验条件下，枯草芽孢杆菌 CGMCC 1.921 添加水平为 1×10^8 CFU/g 时效果最佳。说明枯草芽孢杆菌 CGMCC 1.921 在一定程度上可以提高机体的免疫防御机制。Kim 等[29]饲喂蛋鸡乳酸菌制剂显著提高了血清 IgG 含量，对肉鸡血清 IgG 含量有提高但差异不显著。而 Choi 等[36]饲喂断奶仔猪含枯草芽孢杆菌、嗜酸乳杆菌、酿酒酵母的益生菌制剂对血清中 IgA、IgG 和 IgM 含量无显著影响。鲍延娥等[37]添加 1×10^5、1×10^6、1×10^7、1×10^8 CFU/g 约氏乳杆菌极显著降低了试验第 7 天和第 35 天的血清 IgA 含量，但极显著提高了试验第 28 天的血清 IgA 含量。

4 结 论

①饲粮中添加枯草芽孢杆菌 CGMCC 1.921 可以降低蛋鸡料蛋比，适宜添加水平为 1.0×10^5 CFU/g。

②饲粮中添加枯草芽孢杆菌 CGMCC 1.921 在一定程度上可以升高血清 GLU 含量，降低血清 UREA 含量，但对其他血清生化指标无明显改善作用。

③饲粮中添加枯草芽孢杆菌 CGMCC 1.921 可以提高血液 WBC 和 LYM 数目，提高血清

免疫球蛋白含量，在一定程度上增强了蛋鸡的免疫机能，且适宜添加水平为 1.0×10^{8} CFU/g。

参考文献：

[1] SETLOW P.Mechanisms which contribute to the long-term survival of spores of *Bacillus* species[J].Journal of Applied Microbiology,1994,76(Suppl.23):49S–60S.

[2] 管越强,周环,张磊,等.枯草芽孢杆菌对中华鳖生长性能、消化酶活性和血液生化指标的影响[J].动物营养学报,2010,22(1):235–240.

[3] LEE S H,INGALE S L,KIM J S,et al.Effects of dietary supplementation with *Bacillus subtilis* LS 1–2 fermentation biomass on growth performance,nutrient digestibility,cecal microbiota and intestinal morphology of weanling pig[J].Animal Feed Science and Technology,2014,188:102–110.

[4] SEN S,INGALE S L,KIM Y W,et al.Effect of supplementation of *Bacillus subtilis* LS 1–2 to broiler diets on growth performance,nutrient retention,caecal microbiology and small intestinal morphology[J].Research in Veterinary Science,2012,93(1):264–268.

[5] YANG J J,XU Y Y,QIAN K,et al.Effects of chromium-enriched *Bacillus subtilis* KT260179 supplementation on growth performance,caecal microbiology,tissue chromium level,insulin receptor expression and plasma biochemical profile of mice under heat stress[J].British Journal of Nutrition,2016,115(5):774–781.

[6] WANG X,FARNELL Y Z,PEEBLES E D,et al.Effects of prebiotics,probiotics,and their combination on growth performance,small intestine morphology,and resident *Lactobacillus* of male broilers[J].Poultry Science,2016,95(6):1332–1340.

[7] HOSSAIN M M,BEGUM M,KIM I H.Effect of *Bacillus subtilis*,*Clostridium butyricum* and *Lactobacillus acidophilus* endospores on growth performance,nutrient digestibility,meat quality,relative organ weight,microbial shedding and excreta noxious gas emission in

broilers[J].Veterinarni Medicina,2015,60(2):77–86.

[8] GONG Y,LI H,LI Y.Effects of *Bacillus subtilis* on epithelial tight junctions of mice with inflammatory bowel disease[J].Journal of Interferon & Cytokine Research,2016,36(2):75–85.

[9] ZHANG Z F,CHO J H,KIM I H.Effects of *Bacillus subtilis* UBT-MO_2 on growth performance,relative immune organ weight,gas concentration in excreta,and intestinal microbial shedding in broiler chickens[J].Livestock Science,2013,155(2/3):343–347.

[10] LAN R X,LEE S I,KIM I H.Effects of multistrain probiotics on growth performance,nutrient digestibility,blood profiles,faecal microbial shedding,faecal score and noxious gas emission in weaning pigs[J].Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition,2016,doi:10.1111/jpn.12501.

[11] ZHANG J L,XIE Q M,JI J,et al.Different combinations of probiotics improve the production performance,egg quality,and immune response of layer hens[J].Poultry Science,2012,91(11):2755–2760.

[12] RIBEIRO V,Jr,ALBINO L F T,ROSTAGNO H S,et al.Effects of the dietary supplementation of *Bacillus subtilis* levels on performance,egg quality and excreta moisture of layers[J].Animal Feed Science and Technology,2014,195:142–146.

[13] LI Y,XU Q,HUANG Z,et al.Effect of *Bacillus subtilis* CGMCC 1.1086 on the growth performance and intestinal microbiota of broilers[J].Journal of Applied Microbiology,2016,120(1):195–204.

[14] HU Y L,DUN Y H,LI S N,et al.Effects of *Bacillus subtilis* KN-42 on growth performance,diarrhea and faecal bacterial flora of weaned piglets[J].Asian-Australasian Journal of Animal Sciences,2014,27(8):1131–1140.

[15] ZOKAEIFAR H,BABAEI N,SAAD C R,et al.Administration of *Bacillus subtilis* strains in the rearing water enhances the water quality,growth performance,immune response,and resistance against *Vibrio harveyi* infection in juvenile white shrimp,*Litopenaeus vannamei*[J].Fish & Shellfish Immunology,2014,36(1):68–74.

[16] DENG W,DONG X F,TONG J M,et al.The probiotic *Bacillus licheniformis* ameliorates heat stress-induced impairment of egg production,gut morphology,and intestinal mucosal immunity in laying hens[J].Poultry Science,2012,91(3):575–582.

[17] MURUGESAN G R,ROMERO L F,PERSIA M E.Effects of protease,phytase and a *Bacillus sp*. direct-fed microbial on nutrient and energy digestibility,ileal brush border digestive enzyme activity and cecal short-chain fatty acid concentration in broiler chickens[J].PLoS One,2014,9(7):e101888.

[18] LIU H,ZHANG J,ZHANG S H,et al.Oral administration of *Lactobacillus fermentum* I5007 favors intestinal development and alters the intestinal microbiota in formula-fed piglets[J].Journal of Agricultural and Food Chemistry,2014,62(4):860–866.

[19] 齐博,武书庚,王晶,等.枯草芽孢杆菌对肉仔鸡生长性能、肠道形态和菌群数量的影响[J].动物营养学报,2016,28(6):1748–1756.

[20] LEI X J,PIAO X S,RU Y J,et al.Effect of *Bacillus amyloliquefaciens*-based direct-fed microbial on performance,nutrient utilization,intestinal morphology and cecal microflora in broiler chickens[J].Asian-Australasian Journal of Animal Sciences,2014,28(2):239–246.

[21] FORTE C,MOSCATI L,ACUTI G,et al.Effects of dietary *Lactobacillus acidophilus* and *Bacillus subtilis* on laying performance,egg quality,blood biochemistry and immune response of organic laying hens[J].Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition,2016,100(5):977–987.

[22] SOBCZAK A,KOZŁOWSKI K.The effect of a probiotic preparation containing *Bacillus subtilis* ATCC PTA-6737 on egg production and physiological parameters of laying hens[J].Annals of Animal Science,2015,15(3):711–723.

[23] WANG B G,XU H B,WEI H,et al.Oral administration of *Bifidobacterim bifidum* for modulating microflora,acid and bile resistance,and physiological indices in mice[J].Canadian Journal of Microbiology,2014,61(2):155–163.

[24] LI W F,RAJPUT I R,XU X,et al.Effects of probiotic (*Bacillus subtilis*) on laying performance,blood biochemical properties and intestinal microflora of Shaoxing duck[J].International Journal of Poultry Science,2011,10(8):583–589.

[25] MA Q G,GAO X,ZHOU T,et al.Protective effect of *Bacillus subtilis* ANSB060 on egg quality,biochemical and histopathological changes in layers exposed to aflatoxin B_1[J].Poultry Science,2012,91(11):2852–2857.

[26] HATAB M H,ELSAYED M A,IBRAHIM N S.Effect of some biological supplementation on productive performance,physiological and immunological response of layer chicks[J].Journal of Radiation Research and Applied Sciences,2016,9(2):185–192.

[27] NEWAJ-FYZUL A,ADESIYUN A A,MUTANI A,et al.*Bacillus subtilis* AB1 controls *Aeromonas* infection in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*,Walbaum)[J].Journal of Applied Microbiology,2007,103(5):1699–1706.

[28] KHAN S H,ATIF M,MUKHTAR N,et al.Effects of supplementation of multi-enzyme and multi-species probiotic on production performance,egg quality,cholesterol level and immune system in laying hens[J].Journal of Applied Animal Research,2011,39(4):386–398.

[29] KIM C H,WOO K C,KIM G B,et al.Effects of supplementary multiple probiotics or single

probiotics on the performance,intestinal microflora,immune response of laying hens and broilers[J].Korean Journal of Poultry Science,2010,37(1):51–62.

[30] PARK J H,KIM I H.The effects of the supplementation of *Bacillus subtilis* RX7 and B2A strains on the performance,blood profiles,intestinal *Salmonella* concentration,noxious gas emission,organ weight and breast meat quality of broiler challenged with *Salmonella typhimurium*[J].Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition,2015,99(2):326–334.

[31] GHEISAR M M,HOSSEINDOUST A,KIM I H.Effects of dietary *Enterococcus faecium* on growth performance,carcass characteristics,faecal microbiota,and blood profile in broilers[J].Veterinarni Medicina,2016,61(1):28–34.

[32] STROMPFOVÁ V,MARCIŇÁKOVÁ M,SIMONOVÁ M,et al.*Enterococcus faecium* EK13—an enterocin a-producing strain with probiotic character and its effect in piglets[J].Anaerobe,2006,12(5/6):242–248.

[33] BONSU F R K,DONKOH A,OSEI S A,et al.Effect of direct-fed microbial and antibiotics supplementation on the health status and growth performance of broiler chickens under hot humid environmental conditions[J].International Journal of Livestock Production,2012,3(6):66–71.

[34] ELZEY B D,TIAN J,JENSEN R J,et al.Platelet-mediated modulation of adaptive immunity:a communication link between innate and adaptive immune compartments[J].Immunity,2003,19(1):9–19.

[35] TELLI G S,RANZANI-PAIVA M J T,DE CARLA DIAS D,et al.Dietary administration of *Bacillus subtilis* on hematology and non-specific immunity of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* raised at different stocking densities[J].Fish & Shellfish Immunology,2014,39(2):305–311.

[36] CHOI Y,GOEL A,HOSSEINDOUST A,et al.Effects of dietary supplementation of *Ecklonia cava* with or without probiotics on the growth performance,nutrient digestibility,immunity and intestinal health in weanling pigs[J].Italian Journal of Animal Science,2016,15(1):62–68.

[37] 鲍延娥,汪攀,董晓芳,等.约氏乳杆菌对产蛋鸡生产性能、蛋品质和免疫机能的影响[J].动物营养学报,2013,25(3):595–602.

Effects of *Bacillus subtilis* CGMCC 1.921 on Performance, Routine Blood Parameters, Serum Biochemical Parameters and Immunoglobulin Contents of Laying Hens

GUO Junrui　DONG Xiaofang*　TONG Jianming

(*Institute of Animal Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing* 100193, *China*)

Abstract: This study was conducted to investigate the effects of *Bacillus subtilis* CGMCC 1.921 on performance, routine blood test, serum biochemical parameters and immunoglobulin contents of laying hens. A total of 360 Twenty-seven-week-old healthy Hy-Line brown laying hens were randomly allocated into 5 groups with 6 replicates per group and 12 birds per replicate. The control group (group 1) was fed a basal diet, and the experimental groups (groups 2 to 5) were fed the basal diets supplemented with 1.0×10^5, 1.0×10^6, 1.0×10^7 and 1.0×10^8 CFU/g *Bacillus subtilis* CGMCC 1.921, respectively. The experiment lasted for 24 weeks. The results showed that there were no significant differences in egg production, feed intake, egg weight, egg weight per hen and mortality among all groups ($P>0.05$). However, group 2, 4, 5 significantly decreased feed to egg ratio compared with the control group ($P<0.05$). Dietary *Bacillus subtilis* CGMCC 1.921 supplementation significantly increased serum glucose content (weeks 2, 3, 12, 16 and 20) ($P<0.05$), but significantly decreased serum urea content (weeks 2, 3, 8 and 12) ($P<0.05$). Dietary *Bacillus subtilis* CGMCC 1.921 supplementation significantly increased blood leucocytes (weeks 1, 3, 4, 8, 12, 16, 20 and 24) and lymphocytes counts (weeks 2, 3, 4, 8, 12, 16, 20 and 24) ($P<0.05$), and significantly increased serum immunoglobulin G (weeks 1 and 4) and immunoglobulin M contents (weeks 2, 4, 8 and 16) ($P<0.05$). Therefore, dietary *Bacillus subtilis* CGMCC 1.921 supplementation can decrease the feed to egg ratio, and can improve serum glucose and urea contents and routine blood test parameters, and enhance immunity of laying hens to a certain extent.

Key words: laying hens; *Bacillus subtilis*; performance; routine blood parameters; serum biochemical parameters; immunoglobulin

---

*Corresponding author, associate professor, E-mail: xiaofangd1124@sina.com　（责任编辑　武海龙）